

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2001-156396

(P2001-156396A)

(43) 公開日 平成13年6月8日 (2001. 6. 8)

(51) Int.Cl.?

識別記号

F I

テーマコード(参考)

H 0 1 S 5/183

H 0 1 S 5/183

5 D 1 1 9

G 1 1 B 7/125

G 1 1 B 7/125

A 5 F 0 7 3

審査請求 未請求 請求項の数13 O L (全 14 頁)

(21) 出願番号

特願平11-333089

(22) 出願日

平成11年11月24日 (1999. 11. 24)

(71) 出願人

000002369

セイコーエプソン株式会社

東京都新宿区西新宿2丁目4番1号

(72) 発明者

近藤 貴幸

長野県諏訪市大和3丁目3番5号 セイコ

ーエプソン株式会社内

(72) 発明者

西川 尚男

長野県諏訪市大和3丁目3番5号 セイコ

ーエプソン株式会社内

(74) 代理人

100090479

弁理士 井上 一 (外2名)

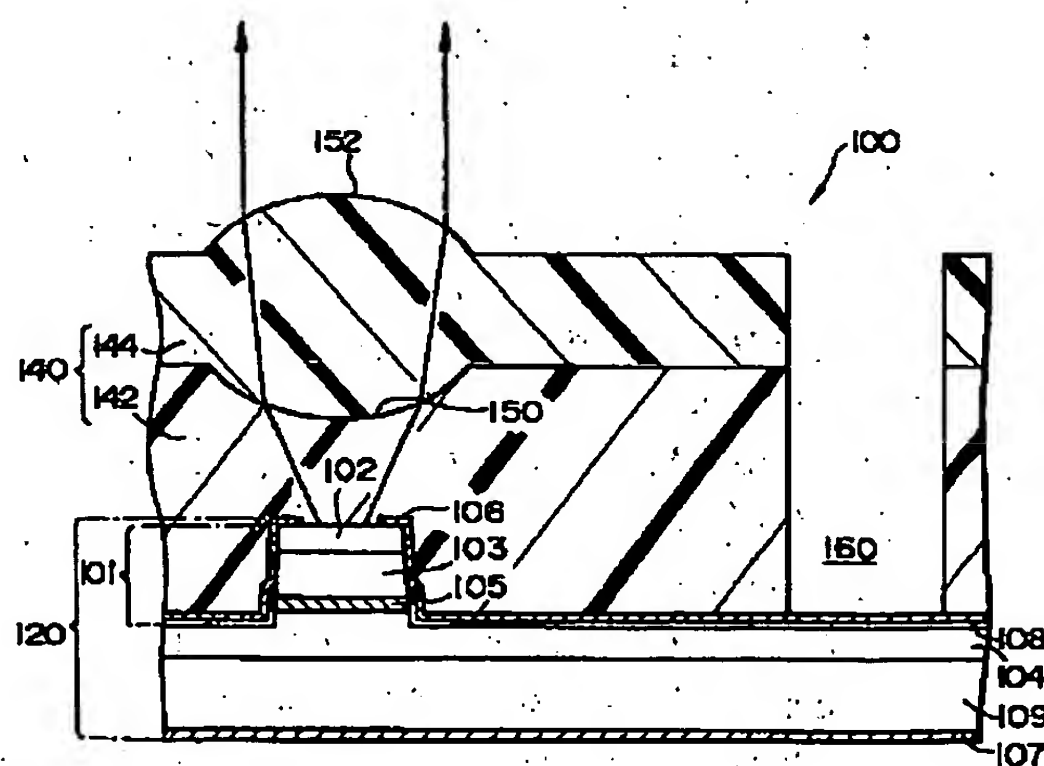
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 面発光レーザおよびその製造方法

(57) 【要約】

【課題】 レーザ光の放射角を小さく設定することを可能とし、さらに、酸素や水分などの半導体の性能を劣化させる物質に対して耐性のある面発光型半導体レーザおよびその製造方法を提供する。

【解決手段】 面発光型半導体レーザ100は、半導体基板109上に、垂直方向の共振器を有し、共振器より半導体基板109に垂直な方向にレーザ光を出射するものである。共振器を含む半導体堆積体120の上には、光透過性積層体140が設けられ、光透過性積層体140は、複数の光透過性層142、144が積層されて構成されている。光透過性層142、144の界面のうち、少なくとも2つの界面は、共振器の上方において、レンズ面150、152を有している。この面発光型半導体レーザ100の製造方法は、光透過性積層体140を構成する、少なくとも一つの光透過性層を、スタンプを利用して形成する工程を含むことが好ましい。



BEST AVAILABLE COPY

(2)

【特許請求の範囲】

【請求項1】 半導体基板上に、垂直方向の共振器を有し、該共振器より該半導体基板に垂直な方向にレーザ光を出射する、面発光型半導体レーザであって、前記共振器を含む半導体堆積体の上に、光透過性積層体が設けられ、

前記光透過性積層体は、複数の光透過性層が積層されて構成され、

前記光透過性層の界面のうち、少なくとも2つの界面は、前記共振器の上方において、レンズ面を有している、面発光型半導体レーザ。

【請求項2】 請求項1において、前記光透過性層の前記界面のうち、最上層の前記光透過性層の上面において、レンズ面を有している、面発光型半導体レーザ。

【請求項3】 請求項1または2において、前記各光透過性層は、樹脂層である、面発光型半導体レーザ。

【請求項4】 請求項1～3のいずれかにおいて、前記光透過性積層体は、高屈折率光透過性層と、低屈折率光透過性層とが交互に積層されて構成されている、面発光型半導体レーザ。

【請求項5】 請求項1～4のいずれかにおいて、前記共振器と、前記各レンズ面との光軸は、一致している、面発光型半導体レーザ。

【請求項6】 請求項1～5のいずれかにおいて、前記半導体堆積体は、電極を有し、前記光透過性積層体は、所定位置において、前記電極とコンタクトをとるためのコンタクトホールが設けられている、面発光型半導体レーザ。

【請求項7】 請求項1～6のいずれかにおいて、前記光透過性積層体は、複数の共振器を有し、前記共振器の相互間における前記光透過性積層体において、分離溝が設けられている、面発光型半導体レーザ。

【請求項8】 請求項7において、前記分離溝の平面形状は、凹凸状の部分有する、面発光型半導体レーザ。

【請求項9】 請求項7または8において、前記分離溝内に、遮光性材料が充填されている、面発光型半導体レーザ。

【請求項10】 請求項1～9のいずれかにおいて、前記面発光型半導体レーザは、複数の共振器を有し、前記共振器が所定のパターンで配設されて、面光源を構成している、面発光型半導体レーザ。

【請求項11】 請求項10において、前記面発光型半導体レーザは、レーザプリンタに適用される、面発光型半導体レーザ。

【請求項12】 請求項1～11のいずれかに記載の面発光レーザの製造方法であって、前記光透過性積層体を構成する、少なくとも一つの前記

光透過性層を、スタンプを利用して形成する工程を含む、面発光レーザの製造方法。

【請求項13】 請求項12において、前記スタンプは、その鋳型面と該スタンプと接触する前記光透過性層との密着性が、最下層の前記光透過性層と前記半導体堆積体との密着性よりも低くなるような表面処理が施されている、面発光型半導体レーザの製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、半導体基板に対して垂直にレーザ光を出射する面発光型半導体レーザおよびその製造方法に関する。

【0002】

【背景技術】面発光型半導体レーザは、端面レーザに比べてレーザ放射角が等方的で、かつ、小さいという特徴を有している。面発光型半導体レーザを大コア径の光ファイバー、たとえば、プラスチック光ファイバーに適用した場合には、上記の特徴のため、直接にレーザ光をファイバー内に効率よく入射することができる。そのため、プラスチック光ファイバーと面発光型半導体レーザを組み合わせることにより、きわめて簡単な構成の光通信モジュールを実現することができる。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、プラスチック光ファイバーには、伝達損失が大きいという欠点があるため、伝送距離を長くするには、大きな光出力の光源が必要になる。面発光型半導体レーザのレーザ出力を増すには、レーザ出射口径を大きくすることが有効である。しかし、レーザ出射口径を大きくすると放射角が大きくなるという問題が生じる。光送信モジュールの構成の簡略化のため、直接結合、すなわち、直接にレーザ光を光ファイバーに入射を行った場合において、放射角の増大は、結合効率、すなわち、ファイバーコア内に入射するレーザ光の光量の低下および取り付けマージンの減少などを招く結果となる。そのため、伝送距離の長さを確保することと、直接結合による光送信モジュールの構成の簡略化の両立が難しいという問題があった。

【0004】さらに、面発光型半導体レーザは、面発光型半導体レーザを構成する半導体が露出していると、酸素や水分などにより、性能の劣化が引き起こされる。

【0005】本発明の目的は、レーザ光の放射角を小さく設定することを可能とし、さらに、酸素や水分などの半導体の性能を劣化させる物質に対して耐性のある面発光型半導体レーザおよびその製造方法を提供することにある。

【0006】

【課題を解決するための手段】本発明の面発光型半導体レーザは、半導体基板上に、垂直方向の共振器を有し、該共振器より該半導体基板に垂直な方向にレーザ光を出

(3)

3

射する、面発光型半導体レーザであって、前記共振器を含む半導体堆積体の上に、光透過性積層体が設けられ、前記光透過性積層体は、複数の光透過性層が積層されて構成され、前記光透過性層の界面のうち、少なくとも2つの界面は、前記共振器の上方において、レンズ面を有している。

【0007】本発明の面発光型半導体レーザによれば、たとえば、次の作用効果を奏することができる。

【0008】(1) 本発明の面発光型半導体レーザは、前記光透過性層の界面のうち、少なくとも2つの界面は、前記共振器の上方において、レンズ面を有している。すなわち、光透過性積層体は、複数のレンズ面を有している。これによって、本発明の面発光型半導体レーザは、次のような作用効果を奏することができる。

【0009】①光透過性積層体が複数のレンズ面を有するので、単一のレンズ面を有する場合に比べて、レンズのパワー（たとえば集光機能）を大きくすることができる。このため、レーザ光の放射角を小さく設定することができる。

【0010】②各レンズ面の形状（たとえば曲率）および各光透過性層の屈折率などを制御し、組み合わせることにより、所望のレンズ作用を得ることができる。所望のレンズ作用は、たとえば、球面収差、色収差の補正などのレンズ作用である。

【0011】③各レンズ面の曲率を、レンズ面が1つの場合ほど、大きくすることなく、所望のレンズ作用を得ることができる。

【0012】④光透過性層の材質に関して、単層で、かつ、レンズ面が1つの場合に比べて、屈折率差が大きくなるような材質を選ばなくても、所望のレンズ作用を得ることができる。すなわち、光透過性層の材質に関して、選択できる屈折率の幅を大きくすることができる。その結果、光透過性層の材質の幅が広がる。

【0013】(2) 光透過性積層体は、半導体堆積体の上に形成されている。このため、半導体堆積体は、光透過性積層体によって、半導体を劣化させる物質（たとえば酸素、水分）などから保護されている。

【0014】面発光型半導体レーザは、たとえば、次の7つの態様のうち、少なくとも1つの態様をとることができる。

【0015】(1) 第1に、前記光透過性層の前記界面のうち、最上層の前記光透過性層の上面において、レンズ面を有している態様である。

【0016】(2) 第2に、前記各光透過性層は、樹脂層である態様である。各光透過性層が樹脂層であると、スタンプにより容易に光透過性層を積層することができる。

【0017】(3) 第3に、前記光透過性積層体は、高屈折率光透過性層と、低屈折率光透過性層とが交互に積層されて構成されている態様である。光透過性層間の屈

4

折率差を大きくすることができる。このため、レンズパワーをより大きくすることができる。

【0018】(4) 第4に、前記共振器と、前記各レンズ面との光軸は、一致している態様である。これにより、最終的に放射されるレーザ光の光軸を、半導体基板に対して垂直に保つことができる。

【0019】(5) 第5に、前記半導体堆積体は、電極を有し、前記光透過性積層体は、所定位置において、前記電極とコンタクトをとるためのコンタクトホールが設けられている態様である。

【0020】(6) 第6に、前記光透過性積層体は、複数の共振器を有し、前記共振器の相互間における前記光透過性積層体において、分離溝が設けられている態様である。これにより、クロストークを抑えることができる。クロストークは、第2の実施の形態のところで詳述する。

【0021】分離溝は、次の2つの態様のうち、少なくとも1つの態様をとることが好ましい。

【0022】①前記分離溝の平面形状は、凹凸状の部分有する態様である。凹凸状の部分有することにより、レーザ光が散乱され、クロストークをより抑えることができる。

【0023】②前記分離溝内に、遮光性材料が充填されている態様である。遮光性材料は、レーザ光を吸収するため、クロストークをより抑えることができる。

【0024】(7) 第7に、前記面発光型半導体レーザは、複数の共振器を有し、前記共振器が所定のパターンで配設されて、面光源を構成している態様である。この態様の場合、面発光型半導体レーザは、レーザプリンタに好適に適用される。

【0025】以上の面発光型半導体レーザは、前記光透過性積層体を構成する、少なくとも一つの前記光透過性層を、スタンプを利用して形成する工程を含む、面発光型半導体レーザの製造方法により製造されることが好ましい。

【0026】この面発光型半導体レーザの製造方法によれば、スタンプを利用して、所望の形状を有する、光透過性層を得ることができる。このため、この面発光型半導体レーザの製造方法は、フォトリソグラフィを利用した、面発光型半導体レーザの製造方法に比べて、容易に面発光型半導体レーザを製造することができる。

【0027】また、スタンプは、再度繰り返して使用することができるため、製造コストを削減することができる。

【0028】前記スタンプは、その鋳型面と該スタンプと接触する前記光透過性層との密着性が、最下層の前記光透過性層と前記半導体堆積体との密着性よりも低くなるような表面処理が施されていることが、さらに好ましい。このような表面処理が施されることにより、スタンプを光透過性層から剥離する際に、その剥離を容易に行

(4)

5

うことができる。

【0029】

【発明の実施の形態】以下、本発明の好適な実施の形態について、図面を参照しながら説明する。

【0030】〔第1の実施の形態〕第1の実施の形態に係る面発光型半導体レーザ（以下「面発光レーザ」という）およびその製造方法を説明する。

【0031】〔面発光レーザ〕まず、第1の実施の形態に係る面発光レーザについて説明する。図1は、第2の実施の形態にかかる面発光レーザ100を模式的に示す断面図である。

【0032】（デバイスの構造）n型GaAs基板109上に、下部DBRミラー104、量子井戸活性層105、上部DBRミラー103およびコンタクト層102が順次積層されて形成されている。下部DBRミラー104は、 $Al_{0.15}Ga_{0.85}As$ とAlAsとを交互に積層した25ペアの分布反射型多層膜ミラーで構成される。量子井戸活性層105は、厚さ3nmのGaAsウェル層と厚さ3nmの $Al_{0.3}Ga_{0.7}As$ バリア層から成り、該ウェル層が3層で構成される。上部DBRミラー103は、 $Al_{0.15}Ga_{0.85}As$ と $Al_{0.9}Ga_{0.1}As$ とを交互に積層した30ペアの分布反射型多層膜ミラーで構成される。

【0033】上部DBRミラー103は、Znがドーピングされることにより、p型にされている。下部DBRミラー104は、Seがドーピングされることにより、n型とされている。したがって、上部DBRミラー103、不純物がドーピングされていない量子井戸活性層105および下部DBRミラー104とで、pinダイオードが形成される。

【0034】コンタクト層102の材質は、後述する上部電極106とオーミック接触可能な材質であれば特に限定されない。具体的なコンタクト層102の材質としては、AlGaAs系材料の場合、たとえば、 $10^{19}cm^{-3}$ 以上の高濃度の不純物がドーピングされた $Al_{0.15}Ga_{0.85}As$ を挙げることができる。

【0035】コンタクト層102、上部DBRミラー103、量子井戸活性層105および下部DBRミラー104の途中まで、所定の領域を除き、メサ状にエッチングすることにより、柱状部101が形成されている。

【0036】さらに、絶縁層108は、柱状部101の側面の一部分および下部DBRミラー104の上面を覆うようにして形成されている。

【0037】そして、上部電極106は、柱状部101の上面において、コンタクト層102とリング状に接触し、露出した柱状部101の側面、および絶縁層108の表面の一部を覆うようにして形成されている。また、n型GaAs基板109の下には、下部電極107が形成されている。

【0038】以下、下部電極107から上部電極106

6

までの層構造を「半導体堆積体120」という。

【0039】半導体堆積体120の上には、光透過性積層体140が形成されている。光透過性積層体140は、第1の光透過性層142および第2の光透過性層144が順次積層されて構成されている。

【0040】第1の光透過性層142と第2の光透過性層144との境界面は、柱状部101の上方において、第1のレンズ面150を有している。第1のレンズ面150は、n型GaAs基板109側（下側）に凸である。第1のレンズ面150は、柱状部101から出射されたレーザ光を集光させる機能を有する。

【0041】第2の光透過性層144の表面は、柱状部101の上方において、第2のレンズ面152を有している。第2のレンズ面152は、n型GaAs基板109と反対側（上側）に凸である。第2のレンズ面152は、柱状部101から出射されたレーザ光をさらに集光させる機能を有する。

【0042】第2の光透過性層144には、第1のレンズ面150と第2のレンズ面152とで、両凸レンズが形成されている。そして、柱状部101、第1のレンズ面150および第2のレンズ面152の、光軸は、一致している。

【0043】第1の光透過性層142の材質は、第2の光透過性層144の材質との関係で決定される。すなわち、第1の光透過性層142の材質は、第2の光透過性層144に比べて、屈折率が小さい材質であれば特に限定されない。第1および第2の透過性層142、144の材質としては、液状物にエネルギーを与えることによって硬化させて得られた材料が好ましい。このような材料が好ましい理由は、後述するスタンプを用いて、光透過性積層体140を形成できるからである。

【0044】各光透過性層142、144の厚さは、特に限定されないが、光透過性層142、144の屈折率、レンズ面150、152の形状などを考慮して、設定される。各光透過性層142、144の厚さは、たとえば10～100 μm である。

【0045】光透過性積層体140は、所定の位置にコンタクトホール160が形成されている。コンタクトホール160は、上部電極106の一部が露出するように形成されている。コンタクトホール160の径は、配線を形成できる程度であれば特に限定されない。コンタクトホール160の径は、スパッタ法またはメッキ法により配線を形成する場合には、10 μm 以上であることが好ましい。ワイヤーボンディングで配線を形成する場合には、コンタクトホール160の径は、100 μm 以上であることが好ましい。

【0046】（動作）以下、面発光レーザ100の動作を説明する。

【0047】上部電極106と下部電極107とで、pinダイオードに順方向の電圧を印加する。すると、量

50

(5)

7

子井戸活性層105において、電子と正孔との再結合が起こり、再結合発光が生じる。そこで生じた光が上部DBRミラー103と下部DBRミラー104との間を往復する際、誘導放出が起こり、光の強度が増幅される。光利得が光損失を上まわるとレーザ発振が起こり、柱状部101からレーザ光が出射される。柱状部101から出射されたレーザ光は、光透過性積層体140に入射し、第1のレンズ面150および第2のレンズ面152において集光されて、光透過性積層体140の外方(n型GaAs基板109に対して垂直方向)に放射される。すなわち、柱状部101から出射されたレーザ光は、第1のレンズ面150において、第1のレンズ面150の曲線の法線に近づく方向に屈折され、第2のレンズ面152において、第2のレンズ面152の曲線の法線に遠ざかる方向に屈折される。

【0048】(特徴点および作用効果)以下、本実施の形態に係る面発光レーザ100についての特徴点および作用効果を述べる。本実施の形態に係る面発光レーザ100の特徴的な点は、たとえば次の点である。

【0049】(1)第1に、光透過性積層体140は、第1のレンズ面150と第2のレンズ面152とを有することである。これによって、たとえば、次の作用効果が奏される。

【0050】①光透過性積層体140は、2つのレンズ面150、152を有するため、単一のレンズ面を有する場合に比べて、集光機能を高めることができる。このため、レーザ光の放射角を小さく設定することができる。

【0051】②各レンズ面150、152の形状(たとえば曲率)および各光透過性層142、144の屈折率などを制御することにより、所望のレンズ作用を得ることができる。所望のレンズ作用は、たとえば、球面収差、色収差の補正などのレンズ作用である。

【0052】③各レンズ面150、152の曲率を、レンズ面が1つの場合ほど、大きくすることなく、所望のレンズ作用を得ることができる。

【0053】④光透過性層の材質に関して、単層で、かつ、レンズ面が1つの場合に比べて、屈折率差が大きくなるような材質を選ばなくても、所望のレンズ作用を得ることができる。すなわち、光透過性層142、144の材質に関して、選択できる屈折率の幅を大きくすることができる。その結果、光透過性層142、144の材質の幅が広がる。

【0054】(2)光透過性積層体140は、半導体堆積体120の上に形成されている。このため、半導体堆積体120は、光透過性積層体140によって、半導体を劣化させる物質(たとえば酸素、水分)などから保護されている。

【0055】[面発光レーザの製造方法]次に、第1の実施の形態に係る面発光レーザ100の製造プロセスに

8

ついて説明する。図2～図4は、面発光レーザの製造工程を模式的に示す断面図である。

【0056】(半導体堆積体の形成)まず、半導体堆積体120の形成方法について説明する。図2は、半導体堆積体120の形成工程を模式的に示す断面図である。

【0057】(1)半導体層の堆積工程

図2(a)に示すように、n型GaAs基板109上に、下部DBRミラー104を形成する。下部DBRミラー104は、 $Al_{0.15}Ga_{0.85}As$ と $AlAs$ とを交互に積層し、 Se をドーピングすることにより形成される。次に、下部DBRミラー104上に、量子井戸活性層105を形成する。量子井戸活性層105は、厚さ3nmのGaAsウエル層と、厚さ3nmの $Al_{0.3}Ga_{0.7}As$ バリア層から成り、該ウエル層が3層で構成される。さらに、量子井戸活性層105上に、上部DBRミラー103を形成する。上部DBRミラー103は、 $Al_{0.15}Ga_{0.85}As$ と $Al_{0.9}Ga_{0.1}As$ とを交互に積層し、 Zn をドーピングした30ペアの積層構造である。その後、上部DBRミラー103上に、 $Al_{0.15}Ga_{0.85}As$ からなるコンタクト層102を積層する。

【0058】上記の各層は、有機金属気相成長(MOVPE: Metal-Organic Vapor Phase Epitaxy)法でエピタキシャル成長させて形成することができる。このとき、例えば、成長温度は、750℃、成長圧力は、 $2 \times 10^4 Pa$ である。III族原料としては、TMGa(トリメチルガリウム)、TMAI(トリメチルアルミニウム)の有機金属を用い、V族原料としては AsH_3 を用いることができる。また、n型ドーパントに H_2Se 、p型ドーパントにDEZn(ジメチル亜鉛)を用いることができる。

【0059】次に、コンタクト層102上に、フォトリソレジストを塗布する。その後、フォトリソグラフィ法により、フォトリソレジストをパターンニングし、所定のパターンの第1のレジスト層R1を形成する。

【0060】(2)柱状部の形成工程

次に、図2(b)に示すように、第1のレジスト層R1をマスクとして、コンタクト層102、上部DBRミラー103、量子井戸活性層105および下部DBRミラー104の途中まで、メサ状にエッチングし、柱状部101を形成する。このエッチングには、通常、エッチングガスとして塩素または塩素系ガス(塩化水素、 BCl_3)を用いた、反応性イオンビームエッチング法が使われる。

【0061】(3)絶縁層および電極の形成工程

次に、基板上に、例えば、膜厚100～300nmのシリコン酸化膜(SiO_x 膜)を形成する。シリコン酸化膜は、 SiH_4 (モノシラン)ガスと O_2 (酸素)ガスを用い、 N_2 (窒素)ガスをキャリアガスとする常圧熱CVD法により形成される。その後、フォトリソグラフィ法とドライエッチングにより、図2(c)に示すよ

(6)

9

うに、柱状部101の側面の一部および下部DBRミラー104の一部を除き、シリコン酸化膜をエッチング除去して、絶縁層108を形成する。

【0062】次に、基板109の下面に、真空蒸着法により、Au-Ge合金、Ni、Auを順次積層した下部電極107を形成する。さらに、柱状部101の上面においてコンタクト層102とリング状に接触し、かつ、柱状部101の側面および絶縁層108を覆うように、上部電極106をリフトオフ法により形成する。ここでは、上部電極106には、チタン、白金、金を順次積層した金属層を用いる。

【0063】（光透過性積層体の形成）次に、半導体堆積体120の上に、光透過性積層体140を形成する方法について説明する。図3および図4は、光透過性積層体140の製造工程を示したものである。図3および図4においては、半導体堆積体120の層構造の図示を省略し、半導体堆積体120を概略して示す。

【0064】光透過性積層体140は、第1の光透過性層142および第2の光透過性層144を順次形成することにより、形成される。以下、第1の光透過性層142と第2の光透過性層144との形成方法を、それぞれ説明する。

【0065】＜第1の光透過性層の形成＞まず、第1の光透過性層142の形成方法を説明する。図3は、第1の光透過性層142の形成工程を模式的に示す断面図である。

【0066】（1）補強板の貼り合せ工程

図3（a）に示すように、半導体堆積体120の裏面、具体的には下部電極107の下に、必要に応じて、補強板170を貼り付ける。補強板170は、平坦であれば特に限定されないが、好ましくは、ガラス板などを挙げることができる。補強板170を貼りつけることにより、次の作用効果が奏される。

【0067】1）第1に、半導体堆積体120の機械的強度を高めることができる。

【0068】2）第2に、半導体堆積体120の破壊を確実に防止することができる。すなわち、後述する、第1のスタンプ180を半導体堆積体120から剥離する工程において、半導体堆積体120に歪みが生じる。170補強板を貼りつけることにより、この歪みによる半導体堆積体120の破壊を確実に防止することができる。

【0069】（2）第1のスタンプと半導体堆積体との位置合わせ工程

第1のスタンプ180と半導体堆積体120とをアライメントをする。第1のスタンプ180は、第1の凸部184と第2の凸部186とを有する。このアライメントは、第1のスタンプ180の、第1の凸部184が面発光レーザの柱状部101の上に位置するように行われる。

10

【0070】第1のスタンプ180は、第1のスタンプ180の鋳型面182には、次の表面処理が施されていることが好ましい。すなわち、その鋳型面182と第1の光透過性層142との密着性が、第1の光透過性層142と半導体堆積体120との密着性よりも低くなるような表面処理である。具体的な表面処理としては、フッ素処理である。この表面処理の作用は、第1のスタンプ180を剥離する工程で説明する。アライメント方法としては、たとえば、以下の方法を挙げることができる。

【0071】1）第1に、第1のスタンプ180と半導体堆積体120とを別々に位置決めし、機械的精度で張り合わせる方法である。

【0072】2）第2に、第1のスタンプ180が透明な場合において、アライメントマーク（図示せず）を照準にして、アライメントを行う方法である。アライメントマークは、たとえば、柱状部101が形成されている側の半導体堆積体120の面上に付すことができる。

【0073】3）第3に、第1のスタンプ180が透明でない場合には、第1のスタンプ180の所定の部分において、垂直方向に第1のスタンプ180を貫通する孔（図示せず）を設け、その孔を介して、上述のアライメントマークを利用してアライメントを行う方法である。

【0074】（3）第1の光透過性層前駆体の導入工程次に、第1のスタンプ180と半導体堆積体120との間に、液状の、第1の光透過性層前駆体142aを導入する。そして、第1の光透過性層前駆体142aを半導体堆積体120の面上に載せる。なお、光透過性層前駆体142aは、第1のスタンプ180の鋳型面182上に載せてもよい。また、光透過性層前駆体142aを半導体堆積体120の面上に載せた後、第1のスタンプ180と半導体堆積体120とをアライメントしてもよい。

【0075】第1の光透過性層前駆体142aの材料は、第1の光透過性層前駆体142aが第1の光透過性層142になった場合に、第1の光透過性層142の屈折率が、第2の光透過性層144の屈折率より小さくなるものであれば特に限定されない。好ましい第1の光透過性層前駆体142aは、エネルギーを付与することにより硬化する材料である。エネルギーを付与することにより硬化する材料としては、紫外線硬化型の樹脂の前駆体、熱硬化型の樹脂の前駆体を挙げることができる。紫外線硬化型の樹脂の前駆体としては、たとえば、紫外線硬化型のアクリル系樹脂の前駆体、紫外線硬化型のエポキシ系樹脂の前駆体を挙げることができる。熱硬化型の樹脂の前駆体としては、熱硬化型のポリイミド系樹脂の前駆体などを挙げることができる。

【0076】紫外線硬化型の樹脂は、紫外線照射のみで硬化することができるので、手軽に使用することができる。また、熱処理を加えないので、第1のスタンプ180、半導体堆積体120および補強板170などの間の

(7)

11

熱膨張差に起因するトラブルを心配する必要がない。紫外線硬化型のアクリル系樹脂は、透明度が高い点で、レンズに適している。

【0077】熱硬化型のポリイミド系樹脂の前駆体は、加熱キュア処理されることにより、イミド化反応が起こり、硬化してポリイミド系樹脂が生じる。ポリイミド系樹脂は、可視光領域で80%以上の透過率を有し、屈折率が1.7~1.9と高いため、大きなレンズ効果が得られるという利点がある。また、熱硬化型の樹脂の場合には、第1のスタンプ180が不透明な材質からなることができる。この場合、第1のスタンプ180の材質として、金属も適用できる。

【0078】第1の光透過性層前駆体142aの半導体堆積体120上への導入方法としては、特に限定されないが、たとえば、ディスペンサノズルによって、第1の光透過性層前駆体142aを半導体堆積体120上に滴下して導入する方法を挙げることができる。

【0079】(4)第1のスタンプと半導体堆積体との密着工程

次に、図3(b)に示すように、第1のスタンプ180と半導体堆積体120とを、第1の光透過性層前駆体142aを介して密着させる。この密着によって、第1の光透過性層前駆体142aは、第1のスタンプ180と半導体堆積体120との間の所定領域まで塗り上げられる。なお、必要に応じて、第1のスタンプ180と半導体堆積体120とを貼り合わせる際に、第1のスタンプ180および半導体堆積体120の少なくとも一方を加圧してもよい。また、第1の光透過性層前駆体142aの内部に気泡が混入することを防ぐため、1.0Pa程度の真空下で、第1のスタンプ180と半導体堆積体120とを密着させてもよい。

【0080】(5)第1の光透過性層前駆体の硬化工程次に、第1の光透過性層前駆体142aを硬化する。硬化方法は、第1の光透過性層前駆体142aの種類に応じて、適宜の方法が選ばれる。紫外線硬化型の樹脂を用いた場合には、紫外線を第1のスタンプ180側から第1の光透過性層前駆体142aに照射することにより、硬化することができる。熱硬化型のポリイミド系樹脂の前駆体を用いた場合には、加熱キュア処理することにより、硬化することができる。

【0081】加熱キュア温度は、第1の光透過性層前駆体142aの種類によって異なるが、たとえば、100~400℃、好ましくは280℃以下、より好ましくは150℃程度である。加熱キュア温度が280℃以下であることにより、電極材の異常拡散を確実に防止することができる。加熱キュア温度が150℃程度であることにより、次の2つの効果がある。1)面発光レーザなどの素子の熱によるダメージを避けることができる。2)半導体堆積体120と第1の光透過性層前駆体(ポリイミド系樹脂)142aとの熱膨張差を小さくすることが

12

できる。

【0082】こうして、半導体堆積体120上には、第1のスタンプ180の鋳型面182の反転形状を有する、第1の光透過性層142が形成される。すなわち、第1のスタンプ180の第1の凸部184に対応する部分に、第1のレンズ面150が形成され、第2の凸部186に対応する部分に、コンタクトホール160形成のためのホール162が形成される。

【0083】(6)第1のスタンプの剥離工程

次に、図3(c)に示すように、第1のスタンプ180を、第1の光透過性層142および半導体堆積体120から剥離する。上述したように、第1のスタンプ180の鋳型面182には、表面処理が施されていることが好ましい。鋳型面182に表面処理を施すことにより、第1のスタンプ180を、第1の光透過性層142および半導体堆積体120から容易に剥離することができる。

【0084】<第2の光透過性層の形成>次に、第2の光透過性層144の形成方法を説明する。図4は、第2の光透過性層144の形成工程を模式的に示す断面図である。

【0085】(1)第2のスタンプと半導体堆積体との位置合わせ工程

第2のスタンプ190と半導体堆積体120とをアライメントする。このアライメントは、第2のスタンプ190の凹部194と、半導体堆積体120の柱状部101とが対向するように行われる。アライメント方法は、上述の、第1の光透過性層142の形成工程(2)と同様であるため、詳細な説明を省略する。なお、第2のスタンプ190の凹部194は、得ようとする第2のレンズ面152の反転形状を有する。第2のスタンプ190の凸部196は、得ようとするコンタクトホール160の反転形状を有する。第2のスタンプ190の具体的構成は、形状以外は、第1のスタンプ180と同様であるため、その説明を省略する。

【0086】(2)第2の光透過性層前駆体の導入工程第2のスタンプ190と半導体堆積体120との間に、液状の、第2の光透過性層前駆体144aを導入する。

そして、第2の光透過性層前駆体144aを、半導体堆積体120の面上に載せる。なお、第2の光透過性層前駆体144aは、第2のスタンプ190の面上に載せてもよい。第2の光透過性層前駆体144aの材料は、第2の光透過性層前駆体144aが第2の光透過性層144になった場合に、第2の光透過性層144の屈折率が、第1の光透過性層142の屈折率より大きくなるものであれば特に限定されない。好ましい第2の光透過性層前駆体144aの材料の具体例は、第1の光透過性層前駆体142aと同様である。なお、第2のスタンプ190と半導体堆積体120との間に、第2の光透過性層前駆体144aを導入する方法の具体例は、第1の光透過性層142と同様である。

(8)

13

【0087】(3) 第2の光透過性層の形成まで以下、第1の光透過性層142と同様にして、第2の光透過性層144を形成することができる。すなわち、上述の、第1のスタンプ180と半導体堆積体120との密着工程(4)から、第1のスタンプ180の剥離工程(6)までの方法と同様にして、第2の光透過性層144を形成することができる。こうして、図4(b)に示すように、柱状部101の上方における、第2の光透過性層144の表面において、第2のレンズ面152が形成される。また、光透過性積層体140の所定の位置において、コンタクトホール160が形成される。

【0088】(4) コンタクトホールの底部の処理
第2のスタンプ190を剥離した後、コンタクトホール160の底部において、光透過性積層体140の構成成分が残存する場合がある。光透過性積層体140の構成成分が残存してしまうと、たとえば次の3つの問題が生じる場合がある。

【0089】1) 第1に、光透過性積層体140の上に金属層を設け、この金属層と上部電極106とを、コンタクトホール160を介して電氣的な接触を取りたい場合に、上部電極106とその金属層との電氣的な接触が十分に図れなくなる場合がある。

【0090】2) 第2に、コンタクトホール160の底部に、光透過性積層体140の構成成分が残存した状態で、たとえば、上部電極106に直接にワイヤーボンドを行うと、ワイヤーを上部電極106に接続ができなくなる問題が生じる場合がある。

【0091】3) 第3に、ワイヤーを上部電極106に接続できたとしても、ワイヤーと上部電極106との電氣的な接触が、十分に図れなくなる問題が生じる場合がある。

【0092】以上の問題を確実に防止するため、コンタクトホール160の底部において、光透過性積層体140の構成成分が残存した場合には、その残存した構成成分を除去することが好ましい。光透過性積層体140の構成成分が樹脂からなる場合には、たとえば、以下に示す2つの方法のうち、いずれかの方法で除去することができる。

【0093】1) 第1に、アッシングによって、コンタクトホール160の底部に残存した樹脂を除去する方法である。ここで、アッシングとは、樹脂を気相中で反応性ガスと反応させて除去する方法である。アッシングの具体例としては、オゾンアッシング、プラズマアッシングなどを挙げることができる。オゾンアッシングは、高濃度のオゾンの雰囲気下で、オゾンと樹脂とを化学反応させて、樹脂を除去する方法である。プラズマアッシングは、たとえば酸素ガスのプラズマを発生させて、そのプラズマを利用して樹脂を除去する方法である。このようなアッシングによる方法によれば、樹脂が残存した、全てのコンタクトホール160についての樹脂を除去す

14

ることができるので、処理時間を要しないという利点がある。

【0094】2) 第2に、コンタクトホール160の底部をエキシマレーザでアブレーションする方法である。すなわち、細かく絞ったエキシマレーザビームをコンタクトホール160の底部に照準を合わせて照射し、コンタクトホール160の底部の樹脂を焼き飛ばす方法である。エキシマレーザによれば、確実にコンタクトホール160の底部のみを、処理できるので、第2のレンズ面152の破損を心配する必要がないという利点がある。

【0095】(5) 補強板の剥離工程
補強板170を剥離し、図1に示すような、面発光レーザ100が完成する。

【0096】(特徴点および作用効果) 以下、第1の実施の形態に係る面発光レーザ100の製造方法についての特徴点および作用効果を説明する。第1の実施の形態に係る面発光レーザ100の製造方法の特徴的な点は、たとえば次の点である。

【0097】(1) 第1に、第1のスタンプ180を利用して、一体的に、第1のレンズ面150と、コンタクトホール160のためのホール162とを形成している点である。このため、フォトリソグラフィ法により、第1のレンズ面150とホール162とを形成することに比べて、簡単であり、製造に要する時間を大幅に短縮することができる。また、スタンプ180は、一度作成すれば、再度繰り返して使用することができるため、製造コストを削減することができ、経済的である。

【0098】(2) 第2に、第2のスタンプ190を利用して、一体的に、第2のレンズ面152とコンタクトホール160とを形成している点である。このため、特徴点(1)と同様の作用効果を奏することができる。

【0099】[スタンプの製造方法] スタンプは、たとえば、次のようにして製造することができる。ここでは、第2のスタンプ190の製造方法を説明する。

【0100】(マザー型の形成) 第2のスタンプ190を製造するにあたって、第2のスタンプ190の母型となるマザー型を製造する。まず、マザー型の製造方法を説明する。図5は、マザー型14の製造工程を示した模式図である。

【0101】(1) 平坦性の高いシリコン基板10上に、フォトレジストを塗布する。その後、フォトリソグラフィ法を用いて、フォトレジストをパターンニングすることにより、図5(a)に示すように、所定のパターンの第2のレジスト層R2を形成する。

【0102】(2) 次に、第2のレジスト層R2を加熱リフローする。すなわち、第2のレジスト層R2を熔融し、流動させて再形成する。これにより、第2のレジスト層R2は、表面張力の影響を受けて、図5(b)に示すように、凸レンズ形状に変形し、第3のレジスト層R3が形成される。加熱方法としては、例えば、ホットブ

(9)

15

レートまたは温風循環式オープンなどを用いて行うことができる。ホットプレートを使用した場合の加熱条件は、レジストの材質により変わるが、150℃以上で、2～10分、好ましくは5分である。また、温風循環式オープンの場合は、160℃以上で、20～30分が適当である。

【0103】(3) 次に、第3のレジスト層R3とシリコン基板10とをエッチングし、第3のレジスト層R3の形状を、シリコン基板10に転写する。こうして、図5(c)に示すように、シリコン基板10上に、凸形状部11が形成される。このエッチングは、得たいレンズ面の形状により異なるが、たとえば、第3のレジスト層R3に対するシリコンの選択比(シリコンのエッチングレート/第3のレジスト層のエッチングレート)(以下「選択比」という)が0.5～1.0であるドライエッチング法により行われる。ここで形成された凸形状部11は、最終的に製造される面発光レーザの第2のレンズ面152の形状を具えている。この選択比によれば、このエッチングにおいて、図5(b)の想像線で示すように、第3のレジスト層R3の形状を反映させながら、シリコン基板10に第3のレジスト層R3の形状を転写することができる。その結果、シリコン基板10上に凸形状部11を形成することができる。エッチングガスとしては、シリコンに対してエッチング性の高いガス(たとえばCF₄)に、レジスト層を積極的にエッチングする酸素を混合したガスなどを挙げることができる。このように酸素を混合することにより、選択比の調節をすることができる。

【0104】(4) 次に、シリコン基板10上に、フォトリソグラフィ法を用いて、フォトリソグラフィ法を用いて、フォトリソグラフィ法を用いて、図5(d)に示すように、所定のパターンの第4のレジスト層R4を形成する。続いて、第4のレジスト層R4をマスクとして、シリコン基板10の所定の位置を、所望の深さにまでエッチングし、ホール12を形成する。ここで形成されたホール12は、最終的に製造される面発光レーザ100のコンタクトホール160の形状を具えている。このエッチングは、選択比の大きなエッチングガス、たとえば、CF₄ ガスなどを用いて行う。エッチング後、第4のレジスト層R4を除去する。こうして、図5(e)に示すように、最終的に製造される面発光レーザ100の第2のレンズ面152とコンタクトホール160の形状を具えたマザー型14が完成する。

【0105】(スタンプの形成) 以下、ここで得られたマザー型14を用いて、スタンプ190を形成する方法を説明する。図6は、マザー型を利用してスタンプ190を形成する工程を示した模式図である。

【0106】(1) 図6(a)に示すように、マザー型14の、凸形状部11およびホール12を有する面上

16

に、液状の紫外線硬化型樹脂30を載せる。

【0107】(2) 次に、紫外線に対して透明な補強板20を、液状の紫外線硬化型樹脂30を介してマザー型14と密着させる。このように補強板20とマザー型14とを密着させることにより、液状の紫外線硬化型樹脂30は、図6(b)に示すように、所定領域まで塗り伸ばられる。補強板20としては、たとえば、ホウケイ酸ガラスからなる板を挙げることができる。

【0108】(3) 次に、補強板20側から、液状の紫外線硬化型樹脂30に対して紫外線24を照射することにより、液状の紫外線硬化型樹脂30を硬化させ、中間盤32を形成する。その後、図6(c)に示すように、中間盤32と補強板20とを一体的にマザー型14から剥離する。こうして、中間盤32と補強板20とからなる、第2のスタンプ190が形成される。こうして得られた鋳型面192には、マザー型14の凸形状部11と、ホール12の形状の反転形状が転写されている。すなわち、第2のスタンプ190の鋳型面192は、凹部194と、凸部196とを有する。凹部194は、第2のレンズ面152の反転形状部となり、凸部196は、コンタクトホール160の反転形状部となる。

【0109】(4) 次に、図6(d)に示すように、鋳型面192に、表面処理を施す。この表面処理は、光透過性積層体140と第2のスタンプ190との密着性が、光透過性積層体140と半導体堆積体120の密着性よりも低くなるようにする処理である。この表面処理としては、たとえば、CF₄ ガスプラズマによるフッ素処理などを挙げることができる。こうして、第2のスタンプ190が完成する。

【0110】{第2の実施の形態} 以下、第2の実施の形態に係る面発光レーザおよびその製造方法について説明する。

【0111】[面発光レーザ] まず、第2の実施の形態に係る面発光レーザについて説明する。図7は、第2の実施の形態にかかる面発光レーザ200を模式的に示す断面図である。

【0112】(デバイスの構造) 第2の実施の形態に係る面発光レーザ200は、半導体堆積体220が複数の共振器を有する、アレイの例である。第2の実施の形態に係る面発光レーザ200は、光透過性積層体240の積層構造と、光透過性積層体240が分離溝270を有する点で、第1の実施の形態と異なる。それ以外の点は、第1の実施の形態と同様であるため、詳細な説明を省略する。また、図7において、半導体堆積体220の層構造の図示を省略し、半導体堆積体220を概略して示す。

【0113】半導体堆積体220は、複数の柱状部201を有する。半導体堆積体220の上には、光透過性積層体240が形成されている。光透過性積層体240は、3層構造である。すなわち、光透過性積層体240

(10)

17

は、半導体堆積体220の上に、第1の光透過性層242、第2の光透過性層244および第3の光透過性層246が順次積層されて構成されている。

【0114】第1の光透過性層242と第2の光透過性層244との境界面は、柱状部201の上方において、第1のレンズ面250を有している。第1のレンズ面250は、半導体堆積体220に対して反対側に凸である。第1のレンズ面250は、柱状部201から出射されたレーザ光を集光させる機能を有する。

【0115】第2の光透過性層244と第3の光透過性層246との境界面は、柱状部201の上方にいて、第2のレンズ面252を有している。第2のレンズ面252は、半導体堆積体220側に凸である。第2のレンズ面252は、柱状部201から出射されたレーザ光を、さらに集光させる機能を有する。

【0116】第3の光透過性層246の表面は、柱状部201の上方において、第3のレンズ面254を有している。第3のレンズ面254は、半導体堆積体220に対して反対側に凸である。第3のレンズ面254において、柱状部201から出射されたレーザ光を、さらに集光させることができる。

【0117】そして、柱状部201、3つのレンズ面250、252、254の、光軸は、一致している。

【0118】第1の光透過性層242および第3の光透過性層246の材質は、第2の光透過性層244の材質との関係で決定される。すなわち、第1の光透過性層242および第3の光透過性層246の材質は、第2の光透過性層244に比べて、屈折率が大きい材質であれば特に限定されない。第1～第3の光透過性層242、244、246の材質としては、液状物にエネルギーを与えることによって硬化させて得られた材料が好ましい。このような材料が好ましい理由は、スタンプを用いて、光透過性層242、244、246を形成することができるからである。

【0119】光透過性積層体240には、複数のコンタクトホール260が形成されている。コンタクトホール260は、柱状部201に連続する上部電極（図示せず）が露出するように、形成されている。

【0120】柱状部201の相互間における、光透過性積層体240には、分離溝270が形成されている。この分離溝270は、クロストークを抑える機能を有する。ここで、クロストークとは、一方の柱状部201から出射されたレーザ光が、水平方向に伝播し、そのレーザ光が、隣接する柱状部201における光透過性積層体240から漏れ出してしまう現象をいう。

【0121】分離溝270は、次の理由で、クロストークを抑える機能を有する。一方の柱状部201から出射されたレーザ光の一部は、光透過性積層体240を水平伝播する。柱状部201の相互間に分離溝270が存在すると、このレーザ光は、分離溝270における光透過

18

性積層体240の側壁面（以下「光透過性積層体の側壁面」という）270aにおいて、反射される。このため、水平伝播してきたレーザ光は、分離溝270を通過する割合が抑えられる。このようにして、分離溝270は、クロストークを抑えることができる。

【0122】分離溝270の平面形状は、特に限定されないが、たとえば長方形を上げることができる。分離溝の平面形状は、凹凸状の部分をも有することが好ましい。分離溝270の平面状が凹凸状の部分をも有すると、次の2つの理由で、クロストークを抑える機能がより向上する。1）第1に、光透過性積層体240の側壁面270aで、水平伝播してきたレーザ光が散乱するため。2）第2に、光透過性積層体240の側壁面270aで、レーザ光のコヒーレンシー（coherency）が乱されるため。

【0123】分離溝270の深さとしては、その機能を発揮できる程度であれば、特に限定されず、たとえば、光透過性積層体240の厚さT1の半分以上である。

【0124】分離溝270の長さL1は、その機能を発揮できる程度あれば特に限定されず、たとえば、第3のレンズ面254の有効径D1より大きくした態様をとることができる。

【0125】（特徴点および作用効果）以下、第2の実施の形態に係る面発光レーザ200についての特徴点および作用効果について説明する。第2の実施の形態に係る面発光レーザ200の特徴的な点は、たとえば次の点である。

【0126】（1）第1に、第1の実施の形態に係る特徴点（1）および（2）と同様の特徴点を有する。このため、その特徴点および作用効果の記載を省略する。

【0127】（2）第2に、光透過性積層体240は、3層の光透過性層242、244、246から構成され、3つのレンズ面250、252、254を有することである。このように、第2の実施の形態に係る光透過性積層体240は、第1の実施の形態に比べて、レンズ面が一つ多く形成されているため、より放射角を狭めることができる。

【0128】（3）第3に、光透過性積層体240の所定の位置に、分離溝270が形成されていることである。分離溝270が形成されているため、クロストークを抑えることができる。

【0129】〔面発光レーザの製造方法〕第2の実施の形態に係る面発光レーザ200は、第1の実施の形態と同様の方法で製造することができる。すなわち、第2の実施の形態に係る面発光レーザ200は、スタンプを利用した方法により製造することができる。

【0130】（分離溝の変形例）分離溝270は、たとえば、次の2つの変形が可能である。

【0131】（1）第1に、図8に示すように、分離溝270内に、遮光性材料272が埋め込まれてもよい。

(11)

19

遮光性材料272は、レーザ光を吸収し得る材質であれば特に限定されない。具体的な遮光性材料272は、黒色染料または黒色顔料をバインダー樹脂とともに溶剤に溶かしたものを挙げることができる。分離溝270内に遮光性材料272を埋め込む方法としては、たとえば、インクジェット方式を利用した方法を挙げることができる。

【0132】(2)第2に、分離溝270の断面形状としては、V字形状であってもよい。分離溝270の断面形状がV字形状であると、簡単に分離溝270を形成することができる。

【0133】{変形例}本発明は、上記の実施の形態に限定されず、本発明の要旨の範囲で種々の変更が可能である。たとえば、次の変更が可能である。

【0134】(1)光透過性層の界面に形成されたレンズ面の形状および曲率と、光透過性層の屈折率とを変化させ、組み合わせることにより、種々のレンズ作用を得ることができる。このレンズ作用は、たとえば、球面収差、色収差である。

【0135】(2)半導体堆積体が複数の共振器を有する場合、共振器を所定のパターンで配設して、本発明の面発光レーザを面光源とすることができる。この面光源は、たとえば、発光単位(共振器)を千鳥状、ライン状などに配設することにより、レーザプリンタに適用できる。また、この面光源は、たとえば、発光単位(共振器)を最密に配設することで、平面光源に適用することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】第1の実施の形態に係る面発光レーザを模式的に示す断面図である。

【図2】第1の実施の形態に係る面発光レーザの製造工程の断面模式図である。

【図3】第1の実施の形態に係る面発光レーザの製造工程の断面模式図である。

【図4】第1の実施の形態に係る面発光レーザの製造工程の断面模式図である。

【図5】スタンプの製造工程を模式的に示す断面図である。

【図6】スタンプの製造工程を模式的に示す断面図である。

【図7】第2の実施の形態に係る面発光レーザを模式的に示す断面図である。

【図8】第2の実施の形態に係る面発光レーザの変形例を模式的に示す断面図である。

【符号の説明】

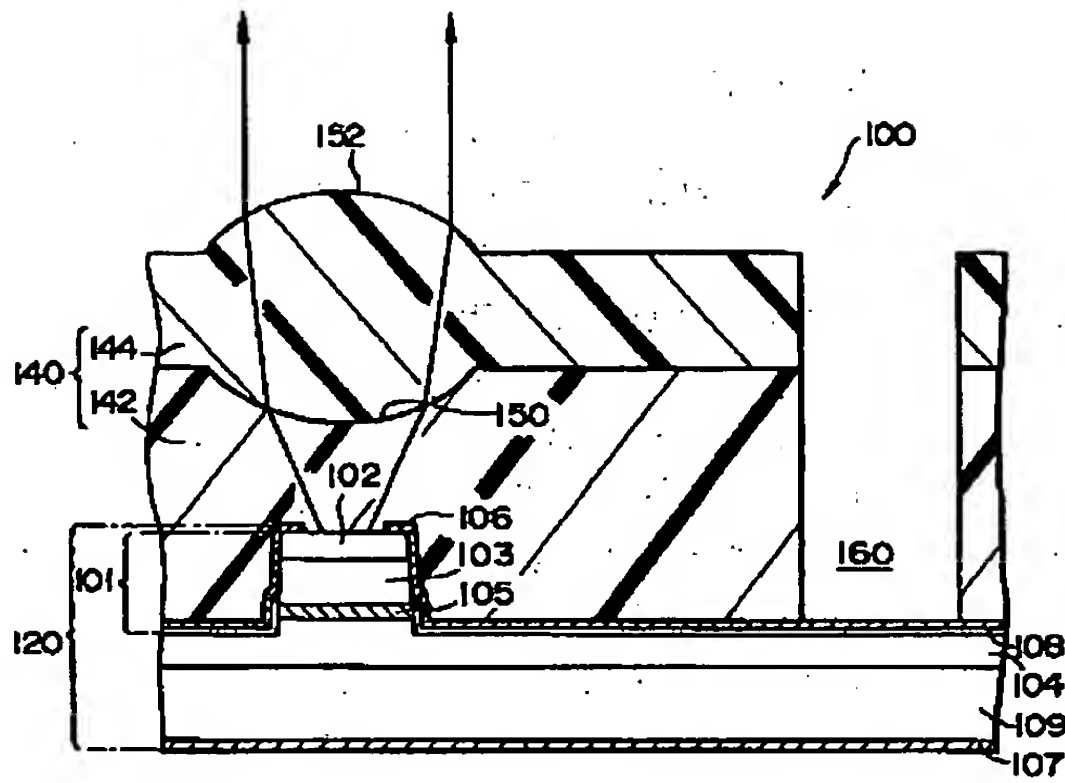
10 シリコン基板

20

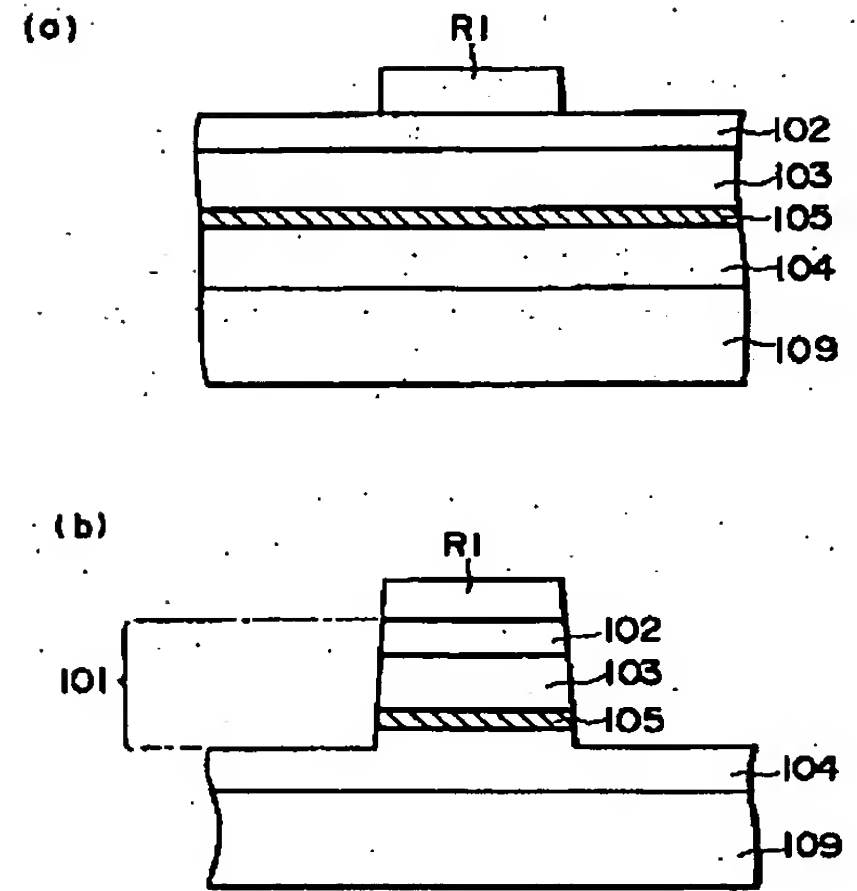
11 凸形状部
12 ホール
14 マザー型
20 補強板
24 紫外線
30 液状の紫外線硬化型樹脂
32 中間盤
100, 200 面発光レーザ
101, 201 柱状部
102 コンタクト層
103 上部DBRミラー
104 下部DBRミラー
105 量子井戸活性層
106 上部電極
107 下部電極
108 絶縁層
109 n型GaAs基板
120, 220 半導体堆積体
140, 240 光透過性積層体
142, 242 第1の光透過性層
142a, 242a 第1の光透過性層の前駆体
144, 244 第2の光透過性層
144a, 244a 第2の光透過性層の前駆体
150, 250 第1のレンズ面
152, 252 第2のレンズ面
160, 260 コンタクトホール
170 補強板
180 第1のスタンプ
182 鋳型面
184 第1の凸部
186 第2の凸部
190 第2のスタンプ
192 鋳型面
194 凹部
196 凸部
246 第3の光透過性層
254 第3のレンズ面
270 遮光溝
272 遮光性材料
D1 第3のレンズ面の直径
L1 遮光溝の長辺の長さ
T1 光透過性積層体の厚さ
R1 第1のレジスト層
R2 第2のレジスト層
R3 第3のレジスト層
R4 第4のレジスト層

(12)

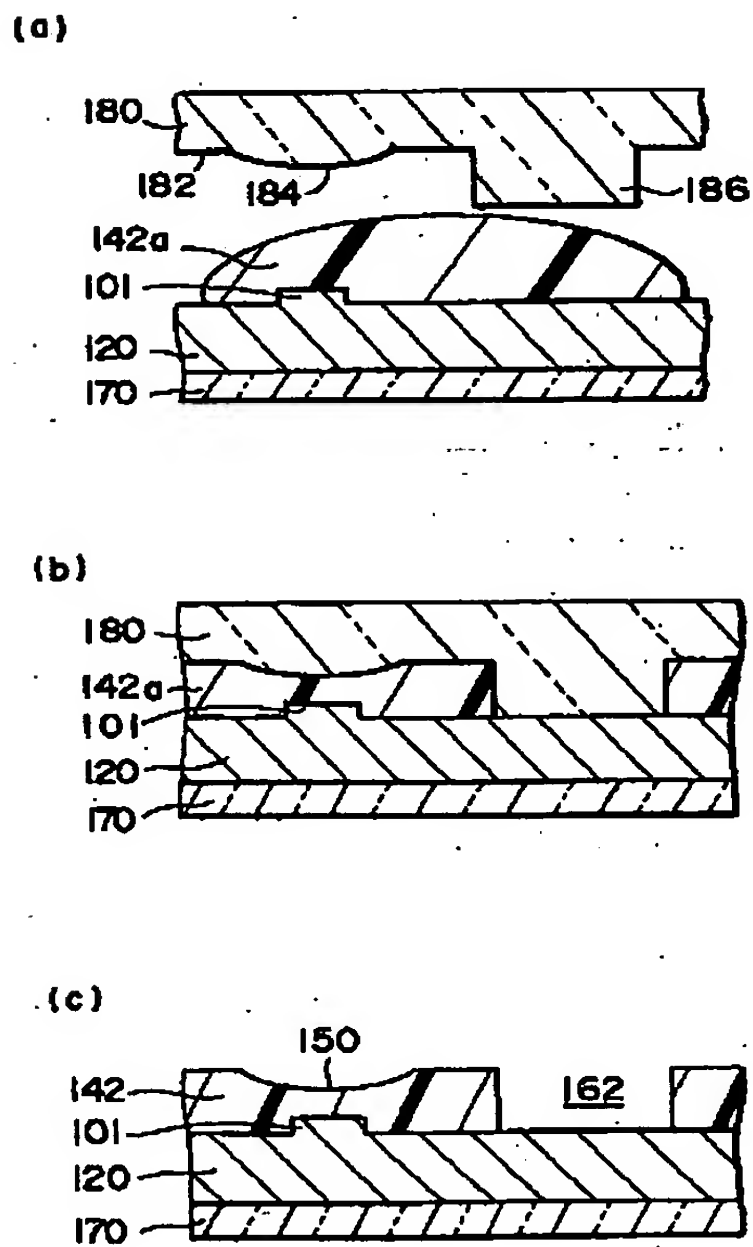
【図1】



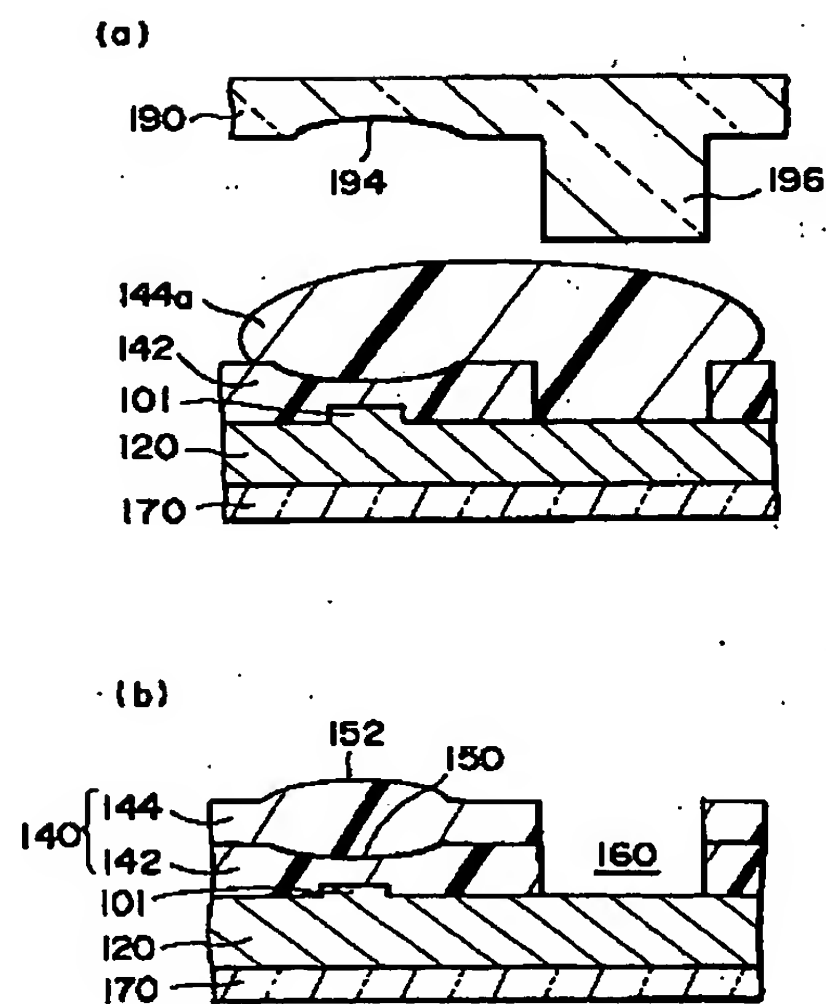
【図2】



【図3】



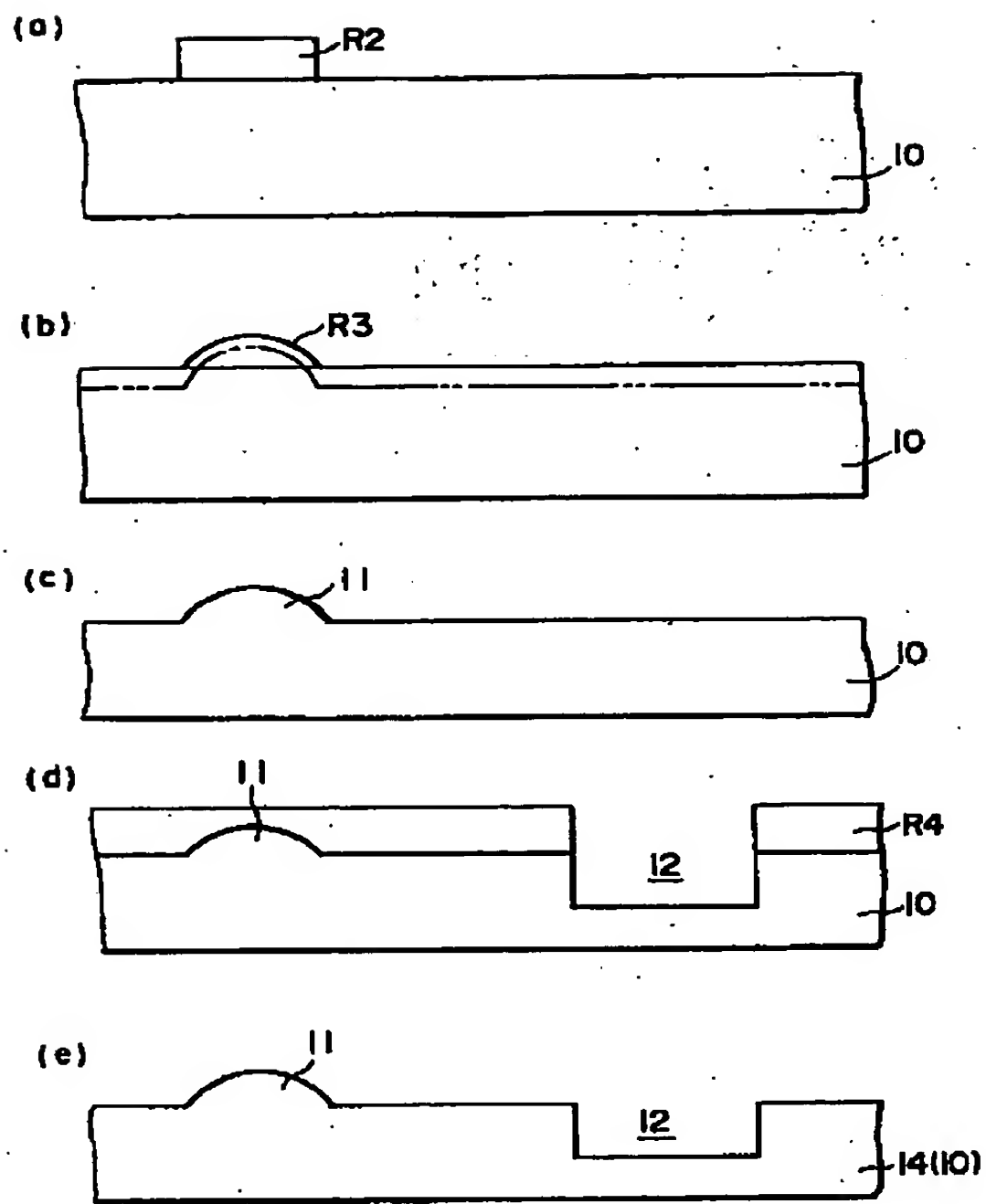
【図4】



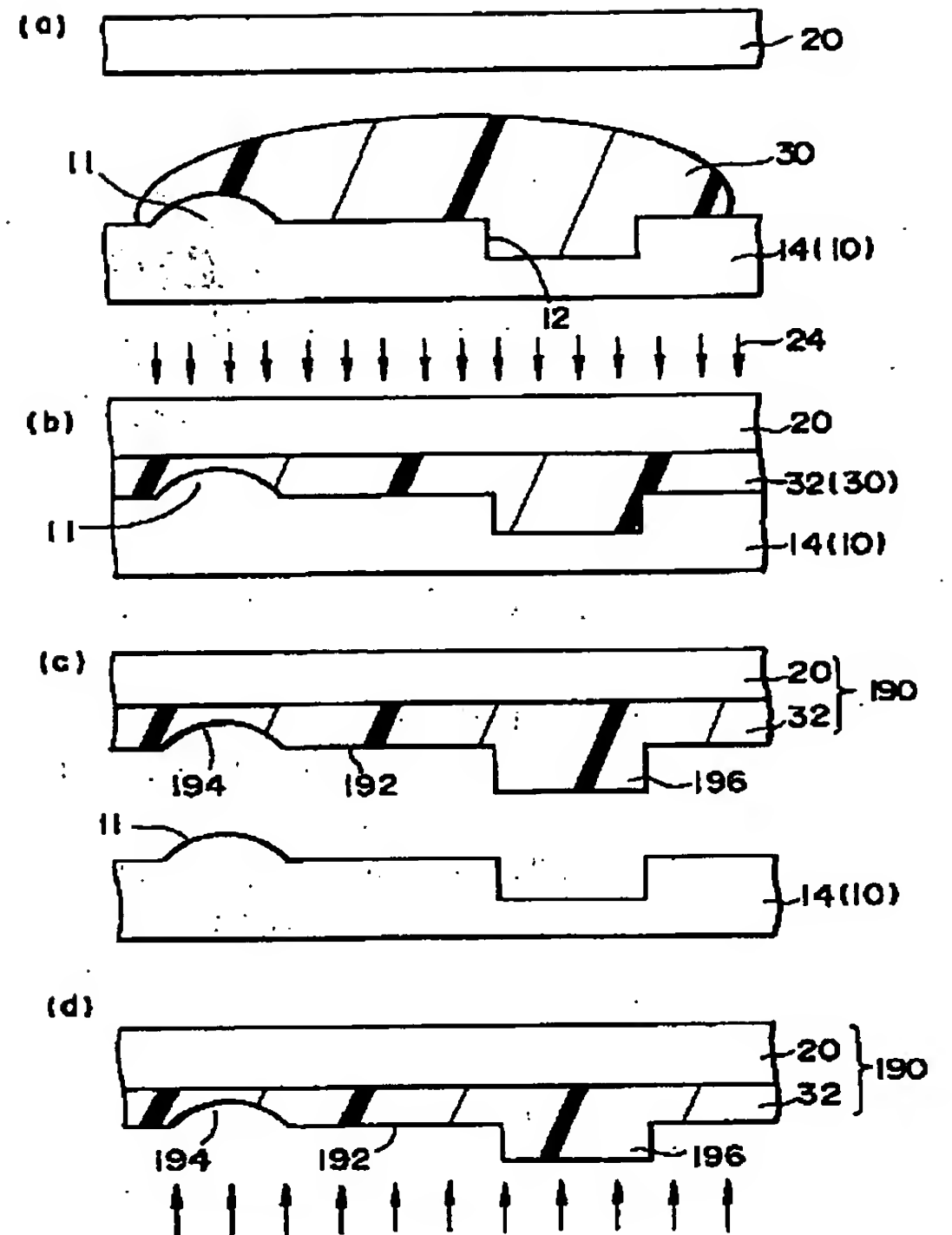
BEST AVAILABLE COPY

(13)

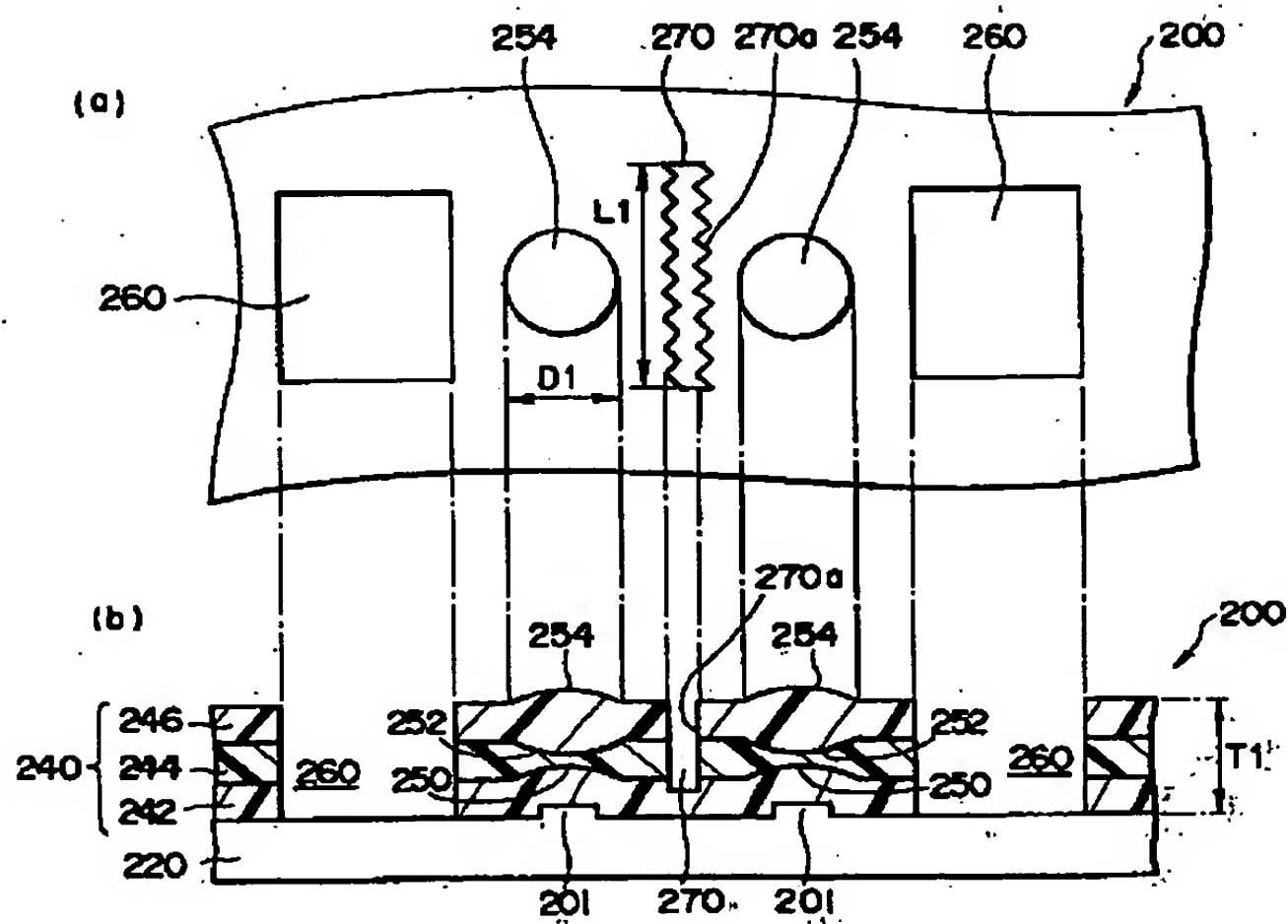
【図5】



【図6】



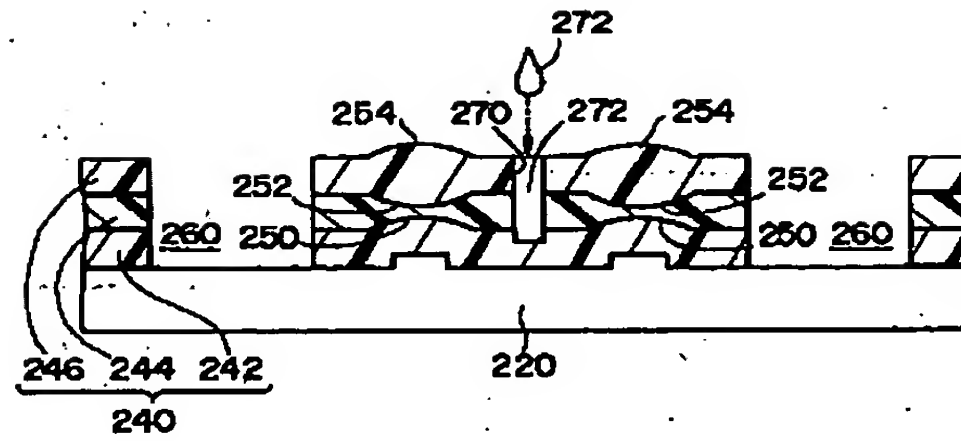
【図7】



BEST AVAILABLE COPY

(14)

【図8】



フロントページの続き

Fターム(参考) 5D119 AA33 AA38 BA01 FA05 FA21
 FA30 JA02 JA64 LB05 LB11
 NA04 NA05
 5F073 AA65 AA74 AB05 AB17 AB26
 BA02 CA04 EA19 EA28

BEST AVAILABLE COPY